



Diego Santarém Monteiro

Diego Santarém Monteiro

**SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMAMENTO DE
ÓLEO DAS PRAIAS DE MAR ABERTO DA CIDADE DO
RIO DE JANEIRO - RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)



Diego Santarém Monteiro

SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMAMENTO DE ÓLEO DAS PRAIAS DE MAR ABERTO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO - RJ

UFRJ

Diego Santarem Monteiro

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto
de Geociências, Universidade
Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador:

João Wagner Alencar Castro

Monteiro, Diego, Santarém

Sensibilidade Ambiental a derramamento de óleo das praias de mar aberto da cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2007.

42p.: il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, ano.

Orientador: João Wagner Alencar Castro

1. Geologia. 2. Setor de Graduação – Trabalho de Conclusão de Curso. I. João Wagner Alencar Castro (UFRJ). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências.

Diego Santarém Monteiro

SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMAMENTO DE ÓLEO DAS PRAIAS
DE MAR ABERTO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO – RJ

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto
de Geociências, Universidade
Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador:

João Wagner Alencar Castro

Aprovado em: 30 de novembro de 2007

Por:

Orientador: João Wagner Alencar Castro (MN – UFRJ)

Gerson Cardoso da Silva Jr. (UFRJ)

José Carlos Sicoli Seoane (UFRJ)

Dedico este trabalho a minha família, que durante todos esses anos nunca deixou de acreditar no meu potencial.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a minha família, pelo apoio, carinho e compreensão durante essa longa caminhada.

Agradeço também ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. João Wagner Alencar Castro pelo suporte e pelos conhecimentos adquiridos.

Aos amigos e “irmãos” do curso de graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro durante esses cinco anos de luta.

Aos meus companheiros da empresa Starfish Oil & Gas por toda força e incentivo.

A todos os meus amigos que estiveram sempre ao meu lado durante essa jornada.

“ Se você conhece o inimigo e
conhece a si mesmo, não precisa
temer o
resultado de cem batalhas.
Se você se conhece mas não conhece
o inimigo, para cada vitória ganha
sofrerá também uma derrota.
Se você não conhece nem o inimigo
nem a si mesmo, perderá
todas as batalhas...”

Sun Tzu – A Arte da Guerra

Resumo

Monteiro, Diego, S. **Sensibilidade Ambiental a derramamento de óledas praias de mar aberto da cidade do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2007, 42p., il., 30cm. (Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia; .)

O município do Rio de Janeiro apresenta uma extensa linha de costa com cerca de 90 km de extensão, caracterizada por um conjunto de praias separadas por pontões rochosos e uma baía, inseridos na Bacia de Santos. O presente trabalho tem como objetivo identificar do ponto de vista geológico e ambiental, os índices de sensibilidade e vulnerabilidade das praias de mar aberto do referido município, a fim de se estabelecer, de forma integrada, os ambientes mais sensíveis a possíveis derramamentos de óleo ou outros derivados de petróleo, baseado na crescente exploração e produção de hidrocarbonetos na referida bacia, para que em caso de algum acidente de percurso, sejam definidas as áreas mais sensíveis para contribuir na tomada de decisões imediatas. A metodologia utilizada para caracterização da sensibilidade e vulnerabilidade destes ambientes foi obtida através das Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para derramamento de Óleo (Ministério do Meio Ambiente) e do Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Sistema PETROBRAS: “Ambientes Costeiros e Estuarinos” (PETROBRAS, 2002), que, por sua vez, teve como base o sistema de elaboração de mapas de sensibilidade da National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA., que determinam o estudo das características geológicas e geomorfológicas da área de estudo. Em relação aos aspectos estudados, tais como substrato e declive, as praias selecionadas apresentam de média a alta energia, alturas médias de ondas entre 0,50 e 2,0 m, declividades médias de 5° a 7° e padrão morfodinâmico variável entre dissipativo a refletivo. Os dados obtidos em campo e em laboratório demonstram que os ambientes costeiros da cidade do Rio de Janeiro se encaixam nos índices de sensibilidade de baixo a moderado (1 a 4) e alto (10), conforme metodologia proposta.

Palavras-chave: Praias de mar aberto | Sensibilidade a Derramamento de óleo | Geologia Ambiental

Abstract

The Rio de Janeiro city has a long coastline with 90 Km of approximated extension, its beaches are separated by rock coasts and a bay (Guanabara Bay) within the Santos Basin. The main objective of this work is to identify, by their geological and environmental characteristics, the sensitivity and vulnerability indexes of the Rio de Janeiro oceanic beaches and then establish how tolerable to oil (and other hydrocarbons) spills and blow-outs, these environments are. This is justified by the emerging oil and gas exploration and production activities within the Santos Basin, in order to determine the most sensitive areas and take immediate decisions. The methodology used in this project was obtained by the “Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para derramamento de Óleo (Ministério do Meio Ambiente)” and “Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Sistema PETROBRAS: Ambientes Costeiros e Estuarinos” (PETROBRAS, 2002). These two manuals are based in sensibility maps from the National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA. The geological and geomorphologic characteristics of the beaches show a medium-high wave energy environment, with heights between 0,5 and 2,0 meters, medium declivities of 5° – 7°, and variable morphodynamic conditions between dissipative and reflective. The obtained field and laboratory data indicate that the oceanic beaches of Rio de Janeiro are classified in sensibility indexes between low to moderate (1 to 4) and high (10), according to the proposed methodology.

Key-Words: Oceanic Beaches| Sensitivity to oil spill| Environmental Geology

Lista de figuras

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	2
Figura 2: Principais portos e refinarias na área de influencia da Bacia de Santos.....	5
Figura 3: Óleo intemperizado em praia de São Sebastião. Acidente com navio Hamilton Lopes, São Sebastião.....	7
Figura 4: Processos de degradação do óleo no mar.	8
Figura 5: Petróleo degradado, com elevada viscosidade e densidade. Acidente Hamilton Lopes, janeiro. 1976. São Sebastião, SP.	9
Figura 6: Mapa de Sensibilidade Ambiental – Setor 1.	24
Figura 7: Mapa de Sensibilidade Ambiental – Setor 2.	25
Figura 8: Mapa de Sensibilidade Ambiental – Setor 3.	26

Lista de Tabelas

Tabela 1: Primeiras descobertas de hidrocarbonetos na Bacia de Santos.	4
Tabela 2: Maiores derramamentos de hidrocarbonetos registrados no mundo.	5
Tabela 3: Classificação dos tipos de óleo x tempo de permanência em meios aquosos.	7
Tabela 4: Índices de Sensibilidade para ambientes marinhos e costeiros.	16
Tabela 5: Classificação dos ambientes de praia da cidade do Rio de Janeiro.	23

Sumário

Agradecimentos	i
Resumo	ii
<i>Abstract</i>	iii
Lista de figuras	iv
Lista de tabelas	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	2
2.OBJETIVOS	3
2.1OBJETIVOS GERAIS	3
2.2OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1 HISTÓRICO EXPLORATÓRIO DA BACIA DE SANTOS	4
3.2 ASPECTOS AMBIENTAIS PARA EXPLORAÇÃO DE HIDROCARBONETOS	5
3.3 INTEMPERISMO DO ÓLEO	6
4. METODOLOGIA	8
4.1 ÍNDICE DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMAMENTOS DE ÓLEO – ISA	9
4.1.1 Declividade do litoral	10
4.1.2 Tipos de Substratos	10
5. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	17
5.1 CONTEXTO GEOLÓGICO DOS AMBIENTES COSTEIROS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	17
5.1.1 Geologia das Planícies Costeiras do Rio de Janeiro	17
5.1.2 Aspectos Morfológicos	17
5.2. CLIMA DE VENTOS.....	20
5.3. CLIMA DE ONDAS	20
5.3.1. Grau de exposição à energia de ondas e marés	21
6. RESULTADOS	22
6.1. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	27
7. CONCLUSÕES	28
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros trabalhos realizados sobre o tema a ser abordado são multivariados e multidisciplinares. Do ponto de vista da geologia costeira e ambiental destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Anísio (2006), Anísio *et al* (2006) e Lima (2006) com enfoques voltados para a dispersão e comportamento dos hidrocarbonetos no interior da baía de Guanabara, a partir da modelagem hidrodinâmica e avaliação de dados geoquímicos de sedimentos de praia. Os referidos trabalhos foram publicados principalmente em congressos da Sociedade Brasileira de Geologia e Rio Oil & Gás.

O incremento das atividades petrolíferas nas Bacias Sedimentares de Campos e Santos fazem com que as praias de mar aberto da zona sul e oeste da cidade do Rio de Janeiro, sejam alvos de riscos potenciais a derramamentos de óleo e outros derivados de petróleo (Anísio, 2006).

Procurou-se a partir desse trabalho estudar e analisar as condições sedimentológicas, hidrodinâmicas e de declividades (gradiente) das praias de mar aberto do litoral da cidade do Rio de Janeiro entre o Leme e o pontal de Grumari, tendo em vista a identificação das áreas mais sensíveis a possíveis derramamentos de óleo conforme metodologia proposta pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA. Como procedimento metodológico analisou-se dados de perfis de praias correspondentes aos ambientes geológicos relacionados à zona de arrebentação e face de praia, diâmetro mediano do grão (D_{50}) e grau de declividade. Os dados obtidos foram integrados através de um aplicativo de geoprocessamento ArcGis 9.2. A integração das informações proporcionou a definição dos Índices de Sensibilidade para os ambientes costeiros e praias de mar aberto da cidade do Rio de Janeiro. Tendo em vista os impactos negativos que podem ser causados por derramamentos de óleo e outros derivados de petróleo na área de estudo, espera-se que os resultados obtidos a partir desse trabalho sejam uma importante ferramenta para a tomada de decisões em relação à ocorrência de possíveis acidentes.

1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na zona sul e oeste da cidade do Rio de Janeiro, entre as coordenadas $23^{\circ} 05' 43.96''$ S/ $44^{\circ} 00' 21.12''$ W e $22^{\circ} 57' 51.53''$ S/ $43^{\circ} 09' 34.85''$ W. A região é caracterizada por uma extensa linha de costa constituída por praias de enseadas e retilíneas com aproximadamente 60 km de extensão.

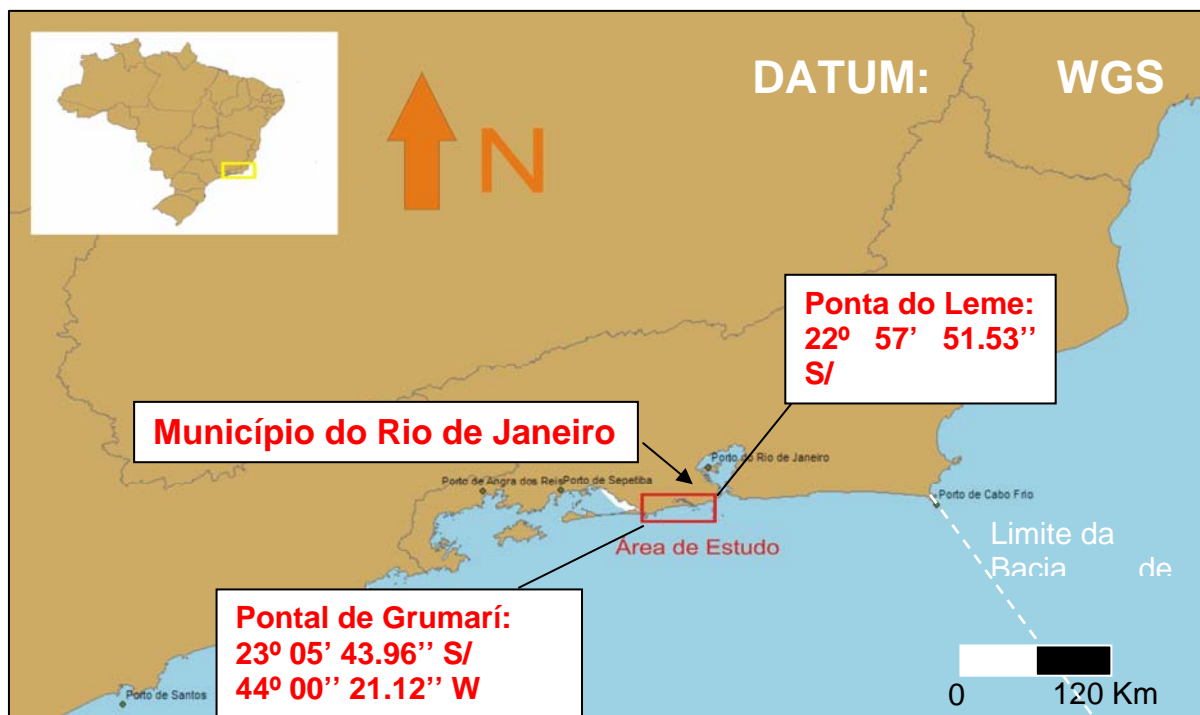


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo compreendida entre as zonas Sul e Oeste da cidade do Rio de Janeiro.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais:

O presente trabalho tem como objetivo geral caracterizar os índices de sensibilidade e vulnerabilidade ambiental (ISA) das praias de mar aberto da cidade do Rio de Janeiro, referente a derramamento de hidrocarbonetos e outros derivados de petróleo a partir de metodologia proposta pela PETROBRAS e pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA.

2.2. Objetivos Específicos:

- ✓ Diagnóstico ambiental das condições geológicas, hidrodinâmicas e meteorológicas da região de estudo;
- ✓ Caracterização das áreas de maior vulnerabilidade a possíveis derramamentos de óleo;
- ✓ Elaborar mapas de sensibilidade ambiental para as praias da zona sul e oeste da cidade do Rio de Janeiro.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. HISTÓRICO EXPLORATÓRIO DA BACIA DE SANTOS

As primeiras descobertas de hidrocarbonetos ocorreram em meados da década de 80, com descobertas de gás no campo de Merluza (1984). A tabela 1 mostra as primeiras descobertas de campos de petróleo na Bacia de Santos. Em aproximadamente 25 anos (1970 - 1997) foram perfurados aproximadamente 100 poços exploratórios para extração de hidrocarbonetos, em regiões relativamente próximas à costa do Rio de Janeiro (ANP, 2007).

Ano	Campo Petrolífero
1984	Merluza - PECTEN
1988	Tubarão - PETROBRAS
1990	Estrela do Mar - PETROBRAS
1990	Coral - PETROBRAS
1992	Caravela - PETROBRAS

Tabela 1: Primeiras descobertas de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. Fonte: ANP

A região costeira do referido município é potencialmente vulnerável para receber poluentes desta natureza, visto que, alguns poços exploratórios e refinarias situam-se relativamente próximos a linha de costa, soma-se a esse fato, as rotas de navios e instalações portuárias. Na figura 2 é possível observar os principais portos e refinarias próximas da área de estudo.

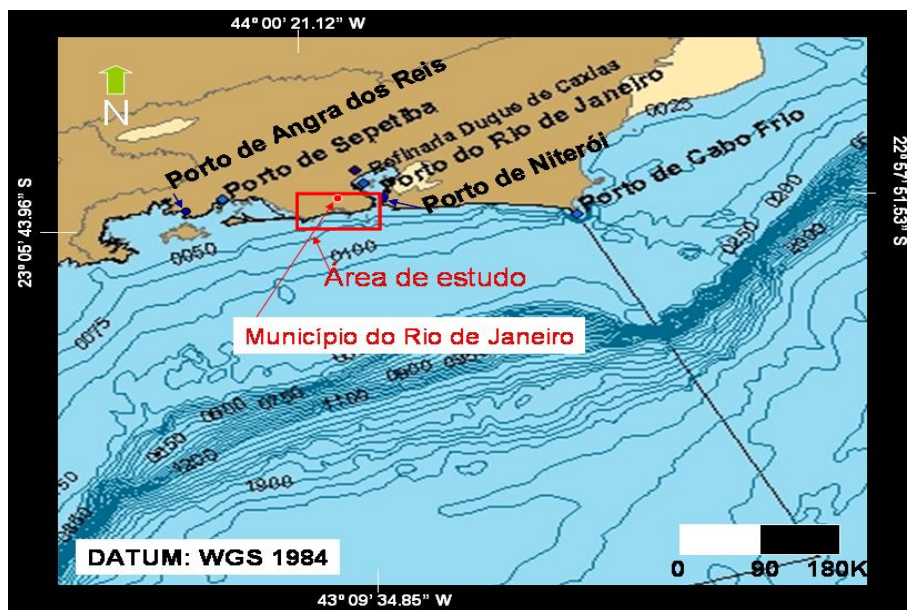


Figura 2: Principais portos e refinarias na área de influencia da Bacia de Santos

Na tabela 2 encontram-se os maiores derramamentos de hidrocarbonetos registrados na literatura mundial.

Navio	Ano	Local	Dimensão do derramamento	Fonte
Tarik	1975	Rio de Janeiro (RJ)	6 mil toneladas	MMA (2002)
Brazilian Marina	1978	São Sebastião (SP)	8 mil toneladas	MMA (2002)
Amoco Cadiz	1978	Brittany, França	227 mil toneladas	ITOPF (2002)
Exxon Valdez	1989	Alaska, USA	37 mil toneladas	ITOPF (2002)
Erika	1999	Baía de Biscaya, França	31 mil toneladas	ITOPF (2002)
Dutos				
Refinaria Duque de Caxias	2000	Baía de Guanabara (RJ)	1,3 milhões de litros	MMA (2002)
Refinaria Getúlio Vargas	2000	Araucária (PR)	4 milhões de litros	MMA (2002)

Tabela 2: Maiores derramamentos de hidrocarbonetos registrados no mundo.

3.2. ASPECTOS AMBIENTAIS PARA EXPLORAÇÃO DE HIDROCARBONETOS

Uma tonelada de petróleo pode se espalhar por aproximadamente 100 km² de oceano. Os hidrocarbonetos podem persistir no meio por até uma década, dependendo do volume derramado, das características físico-químicas do óleo, das proporções das manchas de óleo formadas, das condições hidrodinâmicas e da sensibilidade dos ecossistemas atingidos, entre outros fatores (CETESB, 2007).

O petróleo é um composto orgânico derivado de matéria orgânica. Existem diferentes tipos de petróleo, cada um exibindo características físico-químicas distintas. Os principais componentes dos hidrocarbonetos, que chegam a atingir 98% da composição total, são: enxofre, nitrogênio e oxigênio. Há ainda elementos traço como vanádio, níquel, sódio, cálcio, cobre e urânio. Devido a predominância de hidrocarbonetos no petróleo, são esses os compostos utilizados como indicadores no caso de derramamento em corpos aquosos. Os hidrocarbonetos presentes no petróleo compreendem os n-alcanos, isoalcanos, cicloalcanos, e aromáticos. Entre esses os predominantes são os n-alcanos e os alcanos com cadeia ramificada. Esses compostos contêm quantidades de carbono que variam de 1 até 78 átomos em alguns tipos de petróleo (CETESB, 2007).

Em geral, os óleos são classificados como: não persistentes, ou seja, aqueles que tendem a desaparecer rapidamente da superfície do mar (gasolina, nafta, querosene e óleos leves); persistentes, ou seja, aqueles que se dissipam mais vagarosamente (óleos crus).

A persistência depende de sua gravidade específica que é a sua densidade em relação à água pura. A densidade é geralmente expressa em °API, dada pela fórmula: $^{\circ} \text{API} = (141,5 / \text{gravidade específica}) - 131,5$. Na tabela 3 observa-se o tempo de permanência do óleo em meios aquosos, segundo sua gravidade específica (° API).

Grupo	Densidade	°API	Composição	Meia Vida (h)	Persistência (dias)
I	< 0,8	> 45	Leve	~ 24	1 – 2
II	0,80 – 0,85	35 - 45	Leve	~ 48	3 – 4
III	0,85 – 0,95	17,5 - 35	Pesado	~ 72	5 – 7
IV	> 0,95	< 17,5	Pesado	~ 168	> 7

Tabela 3: Classificação dos tipos de óleo x tempo de permanência em meios aquosos. Fonte: ITOPF - The International Tanker Owners Pollution Federation - 1986

Praticamente todos os tipos de óleos têm gravidade específica menor que 1. Processos de intemperismo podem alterar as propriedades do óleo tornando-o mais denso provocando seu afundamento na água.

3.3. INTEMPERISMO DO ÓLEO

Uma vez derramado no mar, o óleo imediatamente sofre alterações da sua composição original por intemperismo químico, físico e biológico, conforme mostrado na figura 3.



Figura 3: Óleo derramado sobre a praia de São Sebastião. Acidente com navio Hamilton Lopes, São Sebastião. Fonte: ITOPF - The International Tanker Owners Pollution Federation, 1986 - www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/oleo.asp

O processo intemperico inicia-se imediatamente após o derramamento em proporções variáveis, dependendo do tipo de óleo e condições ambientais. A taxa do processo não é constante, sendo mais efetiva nos primeiros períodos do derramamento. Os processos que atuam sobre o óleo, uma vez derramados em corpos aquosos são: espalhamento, evaporação, dispersão, emulsificação, dissolução, oxidação, sedimentação e biodegradação, exemplificado na figura 4.

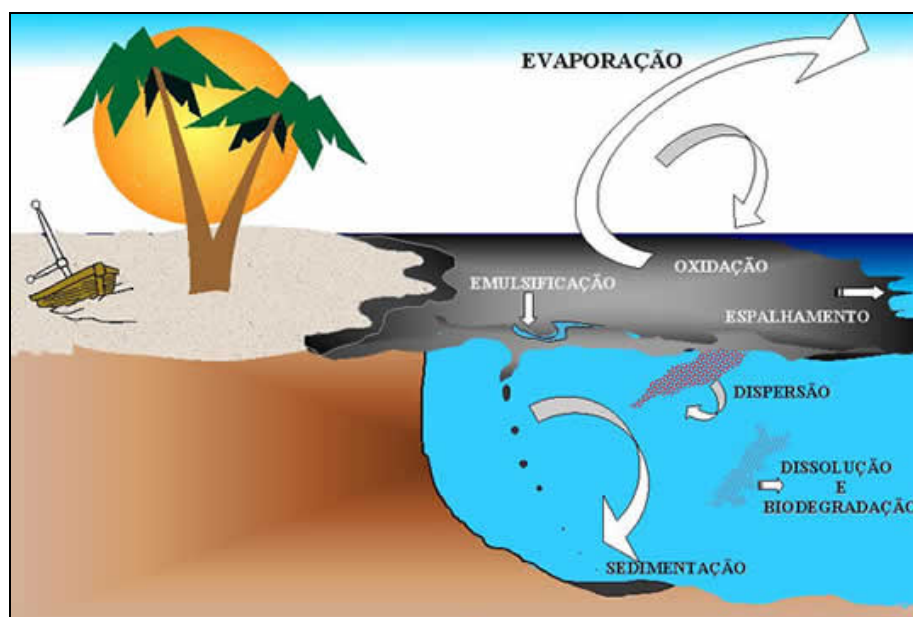


Figura 4: Processos de degradação do óleo mar. Fonte: CETESB (2007) .

Os processos de espalhamento, evaporação, dispersão, emulsificação e dissolução são os mais importantes nos períodos iniciais de um derrame, enquanto que oxidação, sedimentação e biodegradação ocorrem a longo-prazo. Com o passar do tempo, o óleo no ambiente mudará suas características iniciais, ficando menos tóxico, mais denso e viscoso, e mais persistente.

O óleo apresenta ainda outras propriedades físico-químicas, tais como, volatilidade, viscosidade (Figura 5), *pour point* ou fluidez, tensão superficial, ponto de ignição ou *flash point* e solubilidade.



Figura 5: Petróleo degradado, com elevada viscosidade e densidade. Acidente Hamilton Lopes, janeiro. 1976. São Sebastião, SP. Fonte: ITOPF - The International Tanker Owners Pollution Federation.

4. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu em revisão bibliográfica, a fim de levantar informações sobre a confecção de mapas de sensibilidade ao óleo (cartas SAO) e informações complementares sobre a área de estudo no que se refere à dispersão de poluentes em ambientes aquosos.

Os dados referentes a perfis de praia e de sedimentos foram cedidos pelo Laboratório de Geologia Costeira e Sedimentologia LAGECOST (Museu Nacional) UFRJ. Interpretaram-se perfis de praia a partir das informações obtidas por um GPS Diferencial – DGPS, modelo Promark 2, pelo método *Stop and Go* para determinação da declividade dos ambientes praias, comprimento das faixas de praia e orientação geográfica.

Após os trabalhos de campo, foram realizadas as etapas de laboratório e gabinete, que consistiram no processamento das amostras coletadas e integração dos dados coletados complementados por geoprocessamento como ferramenta de integração.

Na etapa de geoprocessamento, foram realizados *downloads* de imagens de satélite CBERS do ano de 2004, a partir do site www.inpe.gov.br, nas bandas 1, 2 e 3 (RGB). Posteriormente essas imagens foram tratadas com o software ERMAPPER 7, a fim de melhorar a qualidade e resolução das mesmas, gerando uma imagem final composta pelas 3 bandas (*Red - Green - Blue*). A partir desse tratamento, as imagens foram trabalhadas na plataforma ARCGIS 9.2. No aplicativo ArcMap, foram delimitados polígonos que representaram os limites dos ambientes costeiros em estudo, com o objetivo de classificá-los e preenchê-los segundo as classificações proposta pela tabela de índices de sensibilidade ambiental (MMA).

Para a classificação do ISA (Índices de Sensibilidade Ambiental) foi empregada a metodologia utilizada originalmente pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) que, posteriormente, foi modificada e adaptada para a costa brasileira pelo Ministério de Meio Ambiente.

4.1. ÍNDICE DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMAMENTOS DE ÓLEO – ISA

O sistema de sensibilidade da NOAA tem por base o conhecimento das características geomorfológicas das áreas, considerando especificamente os seguintes fatores: exposição relativa à energia de ondas e marés, declividade do litoral, tipo de substrato, além de produtividade e sensibilidade biológicas, que não serão abordados nesse estudo.

4.1.1. Declividade do litoral

A inclinação do litoral determina a extensão da zona de praia. Essa inclinação pode ser caracterizada como alta (maior que 30°), moderada (entre 30° e 5°) e pequena ou plana, menor que 5° (Castro e Meirin, 2007).

A importância principal do tipo de inclinação é o efeito na reflexão e quebra das ondas.

Litorais muito inclinados levam ao rompimento abrupto e reflexão das ondas, com elevadas velocidades de espraiamento e refluxo na encosta ou face da

praia. O tempo de permanência do óleo será, provavelmente, mínimo, com uma rápida limpeza natural da área atingida, a não ser que ocorra transposição das ondas (overwash), levando parte do óleo para a zona à retaguarda da praia (Castro e Meirin, 2007).

Costas de baixa declividade, como planícies de maré e faixas de mangue, não só estão sujeitas a níveis de energia mais baixos (tempo de permanência do óleo mais prolongado e menor ação de limpeza natural) como também são mais suscetíveis do ponto de vista biológico, já que apresentam uma superfície que permite o estabelecimento de comunidades biológicas, por exemplo, leitos de mexilhões e comunidades de plantas (NOAA, 1997).

Em ambientes protegidos, a declividade do litoral é um fator menos importante no que se refere ao impacto do óleo. Em compensação, as comunidades biológicas sensíveis têm uma área maior para o seu desenvolvimento onde as inclinações são menores.

4.1.2 Tipos de Substratos

O tipo de substrato vai determinar ou afetar alguns parâmetros, como permeabilidade, mobilidade do sedimento e permanência do óleo.

A permeabilidade de um substrato estabelece uma correlação direta com a infiltração potencial e tempo de permanência do óleo. Quanto maior for o diâmetro dos sedimentos do substrato, esfericidade e grau de seleção mais profunda será a infiltração.

Os substratos litorâneos podem ser assim classificados:

- **SUBSTRATOS ROCHOSOS** – podem ser subdivididos em semipermeáveis e impermeáveis, dependendo do grau de fraturamento da rocha;
- **SUBSTRATOS SEDIMENTARES** – subdivididos conforme o diâmetro do grão:
 - Lama, consistindo de silte e argila, de 0,045 – 0,063
 - Areia muito fina a média, de 0,063 a 0,500 mm;
 - Areia grossa, de 0,500 a 2 mm;
 - Grânulo, de 2 a 4 mm;

- Seixos, de 4 a 64 mm;
- Calhaus, de 64 a 256 mm.

• **SUBSTRATOS VEGETADOS:**

- Banhados (terrenos alagadiços);
- Planícies fluviais (bancos vegetados);
- Manguezais.

4.2 .CLASSIFICAÇÃO DAS FEIÇÕES COSTEIRAS

Índice 1: Substratos impermeáveis, de declividade alta a média, expostas. Costões rochosos lisos, falésias em rochas sedimentares e estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais).

Tais encostas se caracterizam por apresentar exposição freqüente a ondas de 1,0 m ou mais de altura ou a fortes correntes de maré com tendência refletiva. O substrato é impermeável e sem rugosidades, incapaz de acumular óleo de forma significativa, ou seja, com pouca probabilidade de penetração. Tem uma declividade superior a 30 graus (zona estreita), e a fauna é resistente a elevados impactos hidráulicos.

Não há penetração de óleo; portanto, a remoção do óleo tende a ocorrer rapidamente, não havendo, em geral, necessidade de ações de limpeza.

Índice 2: Substratos impermeáveis, sub-horizontais, expostos. Terraços ou substratos de declividade média, expostas (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado, etc.)

Estão expostos, freqüentemente, a ondas de 1,0 m ou mais e a fortes correntes de maré com tendência refletiva. O substrato é impermeável sem rugosidades, incapaz de acumular óleo de forma significativa, podendo apresentar fina cobertura de sedimentos mobilizáveis. A declividade geralmente é inferior a 30 graus (zona mais larga que as feições classificadas no índice de sensibilidade 1). A fauna é resistente a elevados impactos hidráulicos.

Não há penetração do óleo, e a limpeza, geralmente, é dispensável em virtude da tendência de remoção rápida por ação das ondas.

Índice 3: Substratos Semipermeáveis, penetração / soterramento de petróleo baixo. Praias dissipativas de areia fina a média, expostas, e praias de areia fina a média, abrigadas.

Essas praias são caracterizadas por uma reflexão média das ondas e por uma zona larga. O perfil praial possui uma baixa mobilidade: os sedimentos dos estratos mais inferiores são geralmente bem compactos (fundo duro), ao passo que os superficiais estão sujeitos à remobilização constante por ação das ondas.

A possibilidade de soterramento de óleo é mínima nas praias abrigadas; em praias expostas, esse risco aumenta, principalmente, após fase erosiva de tempestades. A penetração do óleo, geralmente, é menor que 10 cm.

Índice 4: Substratos de média permeabilidade; penetração / soterramento de petróleo moderado. Praias de areia grossa e praias intermediárias, de areia média a fina, expostas.

Essas praias possuem face praial com declividade entre 5 e 15 graus, apresentando, em alguns casos, uma zona bastante diminuída. Os substratos são moderadamente permeáveis com uma percolação do óleo até 25 cm de profundidade -, já que a mobilidade sedimentar é relativamente elevada.

Índice 5: Substratos de média a elevada permeabilidade; alta penetração / soterramento de petróleo. Praias mistas de cascalho e areia e terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação.

Energia variada das ondas e das correntes de maré. A declividade situa-se entre 8 a 15 graus, nos casos de substratos móveis, ou sub-horizontal em substratos duros. A permeabilidade do substrato varia de média a elevada (mistura de cascalho e areia). A percolação do óleo pode ir a até 50 cm de profundidade. A maior profundidade de percolação do óleo dificulta a operação de limpeza, que pode causar erosão ou problemas de descarte.

Há uma baixa trafegabilidade nesse tipo de costa. Tempestades periódicas podem ajudar a remoção e/ou soterramento do óleo.

Índice 6: Substratos de elevada permeabilidade; Alta penetração / soterramento de petróleo. Praias de cascalho (seixos e calhaus), depósito de tálus,

enrocamentos (rip-rap, guia corrente, quebra-mar) e plataforma ou terraço recoberto por concreções lateríticas ou bioconstrucionais.

Há uma elevada variabilidade anual no grau de exposição e, conseqüentemente, na freqüência de mobilização de sedimentos por ação das ondas. Ocorre uma elevada permeabilidade do substrato (cascalho) ou substrato rochoso com muitas reentrâncias. A declividade, geralmente situa-se entre 10 e 20 graus (zona moderada). A trafegabilidade é baixíssima nesse tipo de encosta. O óleo pode apresentar uma percolação de até 100 cm. A persistência do óleo pode ser alta, se houver soterramento ou se as tempestades após o soterramento forem pouco freqüentes.

Índice 7: Sub-horizontais, permeáveis, expostos. Planície de maré arenosa exposta e terraço de baixa-mar.

A acumulação sedimentar desses ambientes é de baixíssima declividade, inferior a 3 graus podendo variar de poucos metros a quase 1 km de largura. O sedimento se apresenta inconsistente e de baixa trafegabilidade. A areia predomina, mas podem ocorrer frações de silte e cascalho.

Índice 8: Substratos impermeáveis a moderadamente permeáveis, abrigados, com epifauna abundante. Escarpa / encosta de rocha lisa abrigada, escarpa / encosta de rocha não-lisa abrigada e enrocamentos (rip-rap e outras estruturas artificiais) abrigado da ação das ondas ou de fortes correntes de maré.

O substrato é duro e composto por rochas do embasamento, estrutura artificial ou argila rija. A declividade geralmente é íngreme (maior que 15 graus) resultando em estreita faixa de estirâncio (praia). Usualmente ocorre uma densa cobertura de algas e outros organismos. O óleo tende recobrir a superfície afetada, persistindo por longo tempo tendo em vista à inexistência de hidrodinamismo capaz de efetuar a remoção.

A limpeza é freqüentemente necessária, tanto por razões estéticas quanto pela baixa taxa de remoção natural, sendo, muitas vezes difícil, dada a dificuldade de acesso.

Índice 9: Substratos semipermeáveis, planos, abrigados. Planície de maré arenosa / lamosa abrigada e terraço de baixa-mar lamoso abrigado.

São áreas abrigadas da ação de ondas e de fortes correntes de maré, sendo assim, as variações de marés são raras. O substrato é sub-horizontal (com declividade inferior a 3 graus) e lamoso. Os sedimentos são saturados em água apresentando baixa trafegabilidade e permeabilidade, a não ser pela presença de orifícios feitos por animais, bastante freqüentes. Esse substrato apresenta largura variável, podendo se estender de poucos metros a quase 1,0 Km.

Índice 10: Zonas pantanosas com vegetação acima d'água. Terrenos alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas e mangues.

Ambientes de baixa energia, com substrato plano, lamoso e arenoso, sendo mais comuns os sedimentos mais lamosos. Zona potencialmente extensa, com declividade geralmente baixa, inferior a 3,0 graus. Sedimento mole de baixa trafegabilidade e permeabilidade, sendo saturado de água. A densidade e a diversidade da comunidade biótica são bastante elevadas. A tabela 4 define os índices de sensibilidade ambiental propostos pelo MMA (2000).

Índice	Classificação NOAA	Classificação MMA
1	Molhes expostos e outras estruturas sólidas feitas de concreto, madeira ou metal, impermeáveis	Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos. Falésias em rochas sedimentares, expostas. Estruturas artificiais lisas, expostas.
2	Escarpas e taludes íngremes de argila (barreiras). Plataforma de argila erodidas pelas ondas.	Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos. Terraços ou substratos de declividade média, expostos. (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.)
3	Praias de areia fina. Escarpas e taludes íngremes de areia.	Praias dissipativas de areia média a fina, expostas. Faixas arenosas contíguas a praia, não vegetadas sujeitas a ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas, tipo “long beach”. Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e tabuleiros litorâneos), expostos. Campos de dunas expostos.
4	Praias de areia grossa	Praias de areia grossa. Praias
5	Praias mistas de areia e cascalho (ou conchas).	Praias mistas de areia e cascalho, ou concha e fragmentos de corais. Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação. Recifes areníticos em franja.
6	Praias de cascalho (ou de conchas). Enrocamentos expostos (para proteção da costa)	Praias de cascalho (seixos e calhaus). Costa de detritos calcários. Depósitos de talus. Enrocamentos (“rip-rap”, guia-corrente, quebra-mar) expostos. Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas).
7	Planícies de maré (inundáveis) expostas	Planície de maré arenosa exposta. Terraço de baixa-mar.
8	Estruturas artificiais sólidas abrigadas (piers, instalações portuárias, molhes). Enrocamentos abrigados. Escarpas abrigadas.	Escarpa/ encosta de rocha lisa abrigada. Escarpa/ encosta de rocha não lisa, abrigada. Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados. Enrocamentos (“rip-rap” e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados.
9	Planícies de maré abrigadas. Margens de rios com gramíneas e árvores.	Planície de maré arenosa/ lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não abrigadas. Terraço de baixa-mar lamoso abrigado. Recifes areníticos servindo de suporte para colônia de corais.
10	Pântanos salobros e salgados. Pântanos de água doce (vegetação herbácea). Pântanos de água doce (vegetação de mata).	Deltas e barras de rios vegetados. Terraços alagadiços banhados, brejos, margens de rios e lagoas. Brejo salobro ou de água salgada com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado, apicum.. Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários).

Tabela 4: Índices de Sensibilidade Ambiental (ISA) para ambientes marinhos e costeiros. Fonte MMA (2000).

5. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

5.1. CONTEXTO GEOLÓGICO DOS AMBIENTES COSTEIROS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

5.1.1. Geologia das Planícies Costeiras do Rio de Janeiro

Para a definição da geologia das planícies costeiras do Rio de Janeiro, foi realizada uma revisão bibliográfica com base nos trabalhos de Roncarati (1975) e Roncarati e Neves (1976) e Castro *et al* (2007) que estudaram a região detalhadamente, com abordagens diferenciadas.

5.1.2. Aspectos Morfológicos e Sedimentológicos

Nas áreas emersas das planícies costeiras do município do Rio de Janeiro, como por exemplo a planície costeira de Jacarepaguá, podem ser notadas quatro províncias geomorfológicas distintas, segundo Roncarati e Neves (1976): as montanhas; o clinoplano periférico; as planícies paludais; e as barreiras alongadas. As montanhas são representadas por maciços que circundam as planícies, sendo estes compostos por rochas do embasamento cristalino. O clinoplano periférico seria caracterizado por uma zona de transição entre as montanhas e a planície, ou seja, depósitos sedimentares ou leques aluviais pretéritos, originados a partir da erosão dos maciços rochosos. As planícies paludais são representadas por depósitos sedimentares marinhos e lagunares, sendo dividida em duas partes: A primeira é limitada pelo clinoplano periférico e por uma restinga interna e no caso da planície de Jacarepaguá seria o ambiente onde estão localizadas as lagoas da Tijuca, Camorim e Jacarépaguá. A segunda planície, de menor área, estende-se entre as duas restingas e na planície de Jacarepaguá seria representada pela lagoa de Marapendi. As lagoas atuais são remanescentes de antigas lagunas litorâneas. As barreiras alongadas são representadas por areias depositadas por correntes litorâneas, agindo como obstáculos entre o mar e as planícies.

A partir dos estudos geológicos nas planícies costeiras da cidade do Rio de Janeiro, foi possível definir a evolução sedimentar da região em três fases: Evolução Pliocênica, Pleistocênica e holocênica, sendo estas idades inferidas a

partir da sucessão de eventos deposicionais, pela correlação entre os vários ambientes encontrados e por indícios das variações do nível do mar (Roncarati & Neves, 1976).

Essas três fases correspondem a três ciclos de deposição diferentes separados por hiatos de erosão e não deposição, e cada ciclo nos remete a um modelo deposicional.

O primeiro ciclo representa sedimentos de idade Pliocênica. Indícios texturais mostram sedimentos de origem continental e clima semi-árido, envolvendo leques aluviais preenchendo antigos vales fluviais.

O segundo ciclo representa sedimentos de idade Pleistocênica, evidenciando a porção periférica de uma bacia sedimentar de ambiente também continental. Indícios texturais mostram a transição de um clima úmido para um clima semi-árido.

O terceiro ciclo, compreende sedimentos de idade holocênica, representados por depósitos litorâneos de areias de fundo de enseada, resultantes do retrabalhamento marinho numa condição transgressiva.

Sedimentos Pliocênicos

Primeiros pacotes sedimentares depositados, representados por conglomerados contendo seixos de rochas ígneas e metamórficas, assentados sobre o embasamento. Superpostos a estes conglomerados basais ocorrem camadas gradacionais de areias que variam de conglomeráticas a médias, com matriz argilosa. Trata-se de depósitos de leques aluviais, formados em condições de clima semi-árido, preenchendo antigos vales (Roncarati & Neves, 1976).

Sedimentos Pleistocênicos

Anterior a deposição dos sedimentos pleistocênicos houve um período de erosão que entalhou profundamente o embasamento. Durante o Pleistoceno, quando o nível do mar estava mais baixo do que o atual (período glacial) começaram a ser depositados sedimentos de complexo fluvial de clima úmido, constituído de areias e conglomerados fluviais ao lado de argilas de planície de inundação. Sobre estes sedimentos depositaram-se leques aluviais que sugerem a

mudança das condições para um clima semi-árido. Também foram identificados na área, depósitos ocorridos durante enxurradas e fluxos esporádicos, resultando em um pacote de areias grossas, mal selecionadas, imersas em matriz argilosa (Roncarati & Neves, 1976).

Sedimentos Holocênicos

Estes sedimentos correspondem ao último ciclo deposicional e têm sua origem associada ao avanço do mar sobre o continente, iniciado na passagem do Pleistoceno para o Holoceno. Durante a transgressão Flandriana, o mar retrabalhou a parte superficial dos sedimentos pliocênicos e pleistocênicos anteriormente depositados, resultando deste retrabalhamento uma camada de areias transgressivas litorâneas, denominadas areias de fundo de enseada (Roncarati, 1975). No auge da Transgressão Flandriana, o embate das ondas sobre os sedimentos pleistocênicos originou cordões de praia de enseada, constituídos por areias feldspáticas, com seixos e matacões. Após a Transgressão Flandriana, o nível do mar baixou para o nível atual, abandonando a restinga interna e iniciando a formação da restinga externa pelo mesmo mecanismo anterior.

As praias atuais correspondem a faixas de areias entre a maré mais alta e baixa, frontais ao cordão litorâneo externo, individualizadas por características morfológicas e sedimentológicas. O referido ambiente caracteriza-se por um corpo tabular alongado com ligeira inclinação em direção a antepraia. Em relação à origem deste corpo sedimentar atribui-se fase regressiva do nível do mar e ações do transporte litorâneo induzidos pelas correntes longitudinais e transversais, provavelmente de oeste para leste.

Os canais de maré apresentam-se alongados ou ligeiramente curvos. Na altura do píer da Barra da Tijuca, o canal liga as lagoas de Jacarepaguá, Camorim e Tijuca com o mar aberto, de certa forma contribui com sedimentos mais finos para as praias das imediações. No canal retificado do Jardim de Alah com a lagoa Rodrigo de Freitas, a contribuição sedimentar para as praias é possivelmente menor em função da desembocadura adentrar ao mar.

5.2. CLIMA DE VENTOS

Na região costeira oceânica da cidade do Rio de Janeiro, utilizando como exemplo a planície costeira de Jacarepaguá, predominam ventos provenientes do quadrante Sul e Sudeste com aproximadamente 50% de frequência, diretamente relacionados a frentes frias. As intensidades são relativamente fracas, sendo a pré-frontal (condição atmosférica que antecede a chegada da frente) o momento onde ocorrem as maiores velocidades e rajadas. Os ventos geralmente são acompanhados de chuvas provocadas pelo deslocamento das referidas frentes frias sobre a cidade do Rio de Janeiro.

Fenômenos convectivos porvoca fortes ventos e rajadas. Seus ventos vêm do quadrante Sul – Sudoeste ou Norte - Nordeste. Os ventos do quadrante Norte – Nordeste correspondem cerca de 16% do total, partindo do centro de alta pressão do Atlântico Sul (AAS), que é caracterizada por ventos mais secos e quentes (DHN, 2007).

As velocidades mais comuns de ventos na região, cerca de 70%, variam em torno de 1,4 a 5,1 m/s. O percentual de calmaria situa-se em torno de 30%. A frequência está em sua maior parte relacionada ao sistema geral de circulação (ventos de direção S-SW ou N-NE).

5.3. CLIMA DE ONDAS

A superfície do mar raramente se apresenta lisa e tranqüila. Normalmente é o lugar de ondulações complexas, provocadas por perturbações no plano d'água. Os efeitos dessas ondas junto à costa são de fato as principais causas do transporte de sedimentos e manchas de poluentes ao longo do litoral. A incidência das ondas na praia pode se dar de maneira oblíqua, originando uma corrente de transporte de areias, denominada de corrente de deriva (DHN, 2007).

O estudo do clima de ondas da cidade do Rio de Janeiro foi baseado em análises de observações visuais, cartas sinóticas, associações com situações meteorológicas e correlações com dados obtidos na bacia de Campos – Região Norte Fluminense (Anísio, 2006 apud Coutinho, 2007).

No litoral do município do Rio de Janeiro com orientação E-W, em situações pré-frontais (tempo bom) os ventos sopram do quadrante E-NE e as correntes marinhas dirigem-se para fora da costa, em direção S-SW. Durante a entrada de frentes frias (tempo chuvoso), o vento passa a soprar de S-SW, empurrando as correntes marinhas na direção NE, que incide diretamente sobre a linha de costa (DHN, 2007).

É possível considerar dois principais climas de ondas na cidade do Rio de Janeiro. Durante o período de verão, as condições climáticas e o estado de mar são menos energéticas, neste caso predominam as ondas no quadrante S-SE. Essa condição de menor energia se deve a presença do centro de alta pressão do Atlântico Sul (AAS) mais próximo do continente. Durante o período de Inverno as ondulações são mais energéticas e o ataque das ondas se ocorre pelo quadrante S-SW. Este ângulo de ataque está associado às ressacas.

Praias de grande extensão e expostas sem proteção ao oceano aberto, ficam sujeitas a todo tipo de ataque de ondas, ou seja, tempestades de SW, S ou SE.

A ação das ondas na costa do município tem papel fundamental, juntamente com as correntes de deriva, no transporte e deposição das manchas de óleo nas praias em estudo.

5.3.1. Grau de exposição à energia de ondas e marés

O tempo de permanência do óleo em ambientes de alta energia de ondas e marés tende a ser menor do que em ambientes abrigados. Ambientes energéticos promovem a limpeza natural, através do ataque por ondas. Correntes marítimas criadas junto à costa, pela refração/reflexão das ondas, podem também afastar o óleo e minimizar seus impactos ambientais negativos (CETESB, 2007).

O fluxo de energia de marés é também importante na determinação do potencial de impactos sobre os habitats costeiros, ainda que não tanto quanto o fluxo de energia das ondas. A amplitude da maré (juntamente com a declividade do perfil topográfico) determina a largura da zona, ou seja, a superfície mais sujeita a ser coberta por óleo no caso de derrame. O potencial para fortes correntes

de maré removerem o óleo aderido em superfícies e moverem os sedimentos contaminados, enterrando o óleo, é a consideração mais importante. Como regra geral, pode-se afirmar que as correntes de maré aumentam com a amplitude de maré (CETESB, 2007).

A seguir, apresenta-se a influência do grau de energia (hidrodinamismo) no tempo de permanência do óleo em um determinado tipo de segmento costeiro.

Segmentos costeiros com alto nível de energia – geralmente expostos a grandes e fortes correntes de maré durante todas as estações. Nessas condições, o óleo é naturalmente removido em períodos de dias ou semanas.

Segmentos costeiros com níveis intermediários de energia – têm, de forma geral, padrões sazonais na frequência de tempestades e altura de ondas. Nesses ambientes, o óleo pode ser removido somente quando da ocorrência de um evento de alta energia, o que pode levar dias ou meses após o derrame.

Segmentos costeiros com baixo nível de energia – são protegidos de ondas e correntes de maré, exceto em eventos ocasionais. Nesse caso, a remoção natural do óleo pode levar um longo período de tempo.

6. RESULTADOS

Foi realizado um levantamento dos ISA (Índices de Sensibilidade Ambiental) para os ambientes costeiros da cidade do Rio de Janeiro, envolvendo as praias de enseada do Leme, Copacabana, Ipanema, São Conrado, Grumari, Prainha e das praias de mar aberto da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes.

A tabela 4 mostra o grau de declividade, diâmetro mediano do grão, índice de classificação (ISA), orientação e classificação da linha de costa de cada uma das unidades fisiográficas estudadas.

Praia	Declividade média (graus)	D50 (mm)	Índice de Classificação	Orientação da linha de costa	Classificação da linha de costa
Leme	5°	0,300	3	SW-NE	Enseada
Copacabana	6°	0,350	3	SW-NE	Enseada
Ipanema	6°	0,440	3	SW-NE	Enseada
São Conrado	5°	0,400	3	SW-NE	Enseada
Barra	5°	0,445	4	E-W	Retilínea
Recreio	5°	0,560	4	E-W	Retilínea
Grumari	7°	0,490	3	WSW-ENE	Enseada
Prainha	6°	0,475	3	SW-NE	Enseada

Tabela 5: Classificação dos ambientes de praia da cidade do Rio de Janeiro conforme método proposto pelo MMA (2000).

Foram elaborados três mapas de sensibilidade ambiental para os segmentos compreendidos entre o Leme - São Conrado (setor 1), Barra da Tijuca - Recreio dos Bandeirantes (setor 2) e praia da Reserva - Grumari (setor 3) através de fotointerpretação e geoprocessamento. As figuras 6, 7 e 8 apresentam os mapas com os índices de sensibilidade ambiental que variam de 1 e 2 (costão rochoso), 3 e 4 (praias arenosas) e 10 (canais de maré).

SETOR 1: Leme – São Conrado

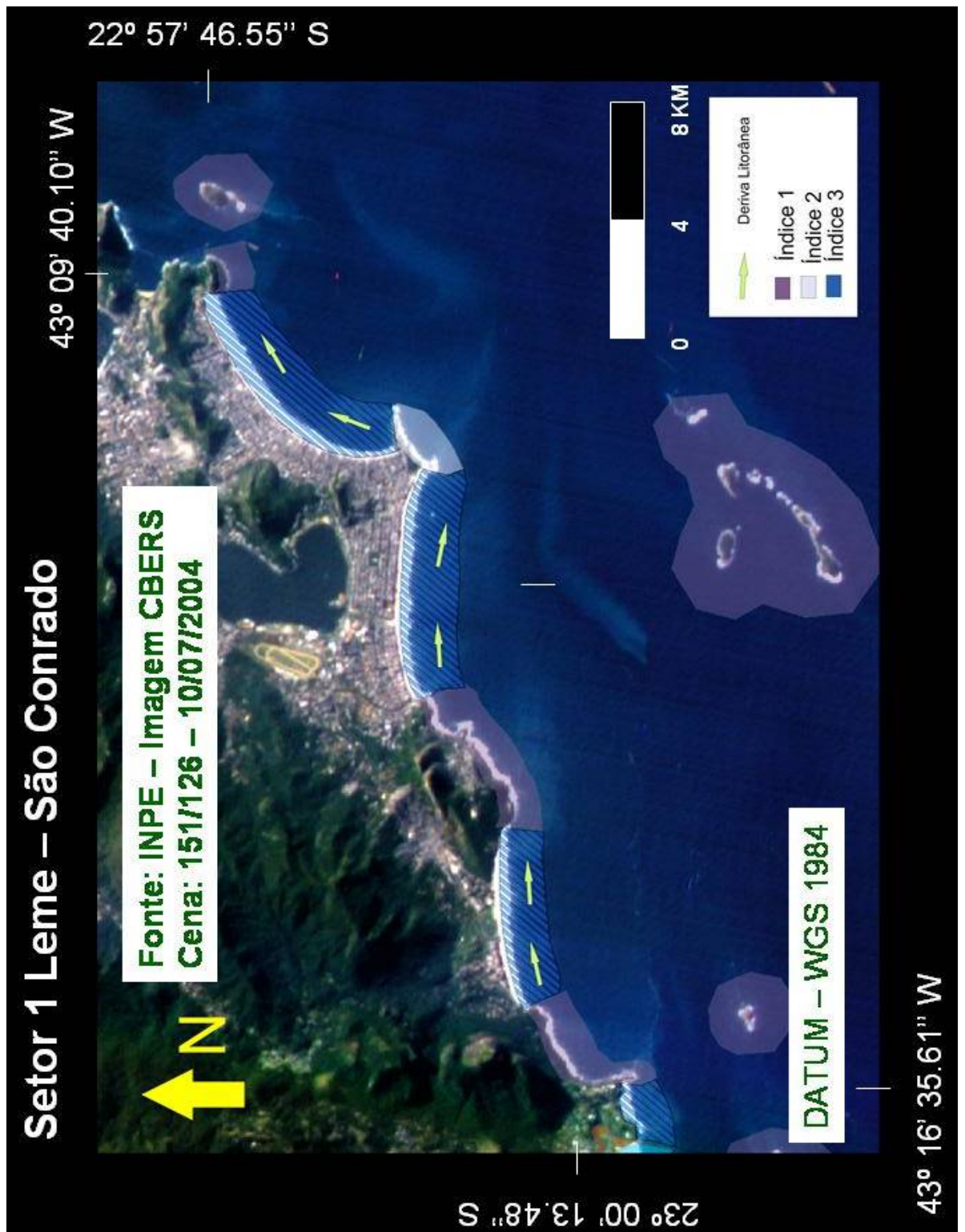


Figura 6: Mapa de Sensibilidade Ambiental – Setor 1.

SETOR 2: Barra da Tijuca – Recreio

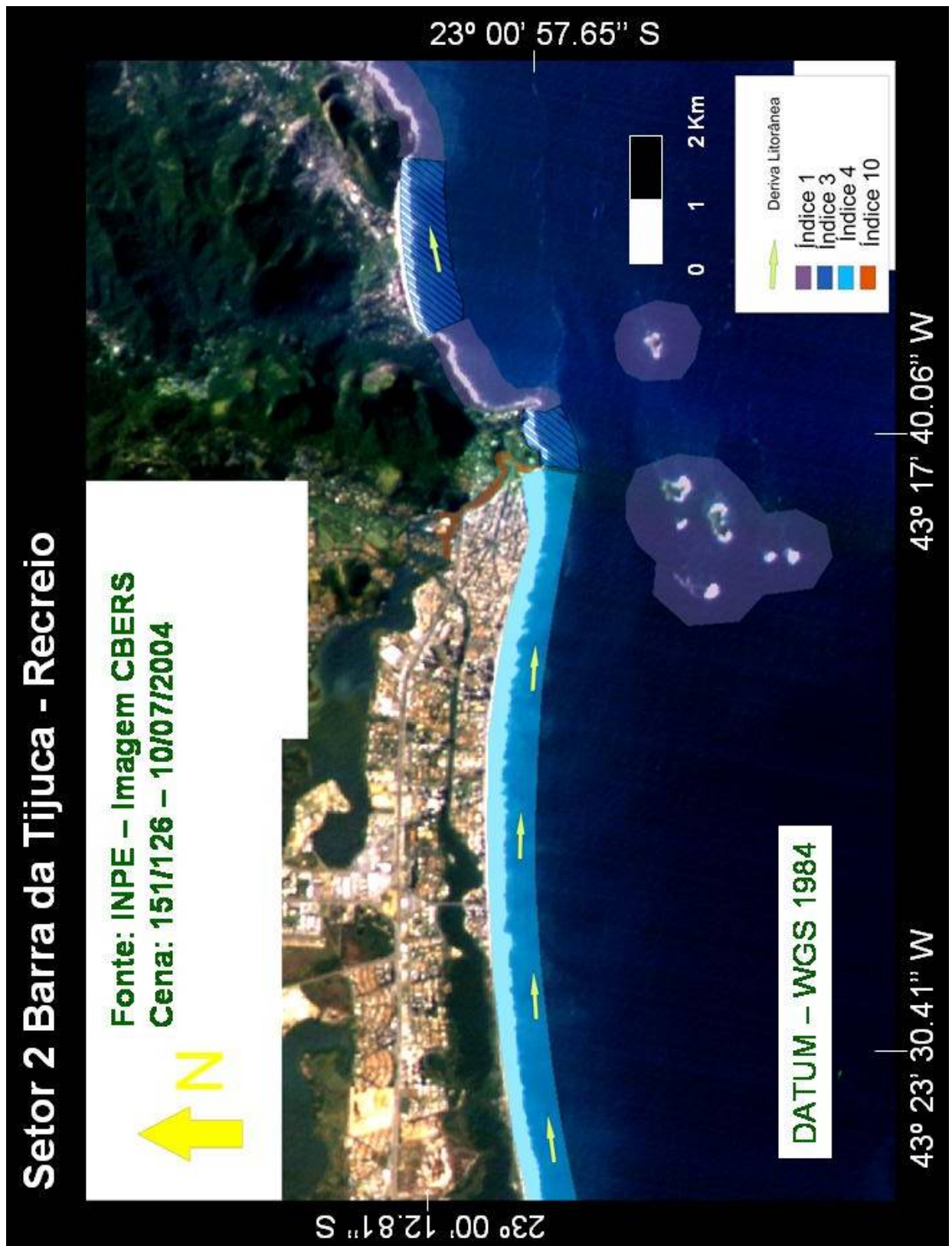


Figura 7: Mapa de Sensibilidade Ambiental – Setor 2

SETOR 3: Praia da Reserva - Grumari

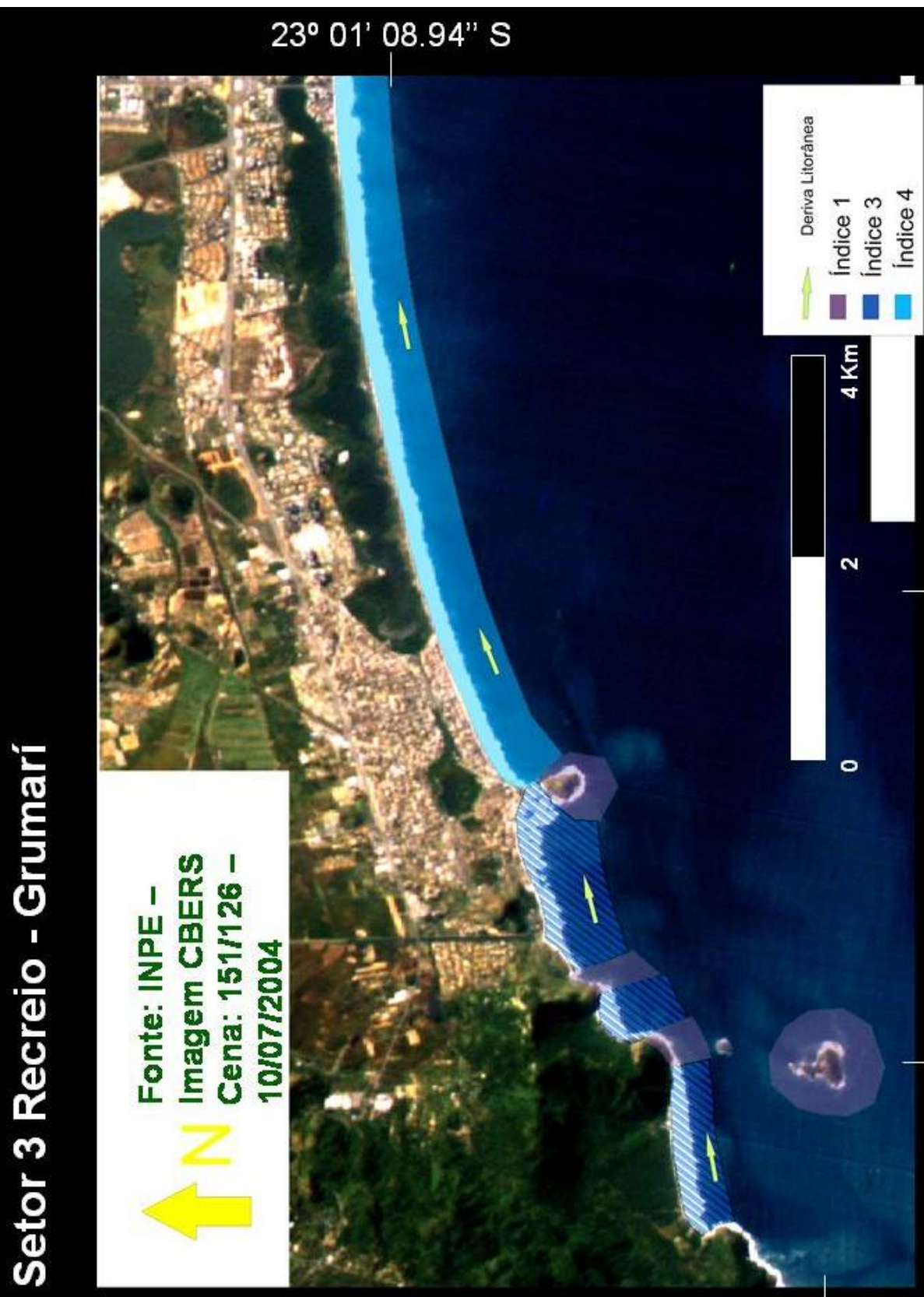


Figura 8: Mapa de Sensibilidade Ambiental – Setor 3.

6.1. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme metodologia estabelecida pelo MMA foram obtidas classificações de índices de sensibilidade ambiental para a área de estudo que variaram de 1 a 4 e 10 denotando diferentes respostas ambientais a possíveis derramamentos de óleo.

Os índices de sensibilidade 1 são constituídos pelo Forte Duque de Caxias (Copacabana), Morro do Vidigal, Joá, Ilhas costeiras, pontal do Recreio e pontal de Grumari caracterizam-se por substrato impermeável (costões rochosos) e declividades altas a médias, geralmente superiores a 30°, segundo observações de campo. Sendo assim, não há a necessidade de limpeza e remoção do óleo, visto que esta tende a ocorrer rapidamente.

O índice de sensibilidade 2 é constituído pela Ponta do Arpoador, que caracteriza-se por substrato impermeável e declividade inferior a 30°. Sendo assim, a necessidade de limpeza também é dispensada, uma vez que o óleo tende a ser removido por ação rápida das ondas.

Os índices de sensibilidade 3 são constituídos pelas praias de Copacabana, Ipanema, Joatinga, Macumba, Prainha e Grumari, caracterizam-se por substratos permeáveis, compostos basicamente por areias quartzosas com carapaças calcárias, de granulometria média, moderadamente selecionadas, variando de subarredondadas a subangulosas, com face de praia com declividade média variando de 5° a 7°. Sendo assim, necessita-se a remoção do óleo, uma vez em contato com a praia, pode este penetrar até 10 cm devido a sua alta viscosidade.

Os índices de sensibilidade 4 são constituídos pelas praias da Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeirantes e Reserva, caracterizam-se por substratos permeáveis, de areia basicamente quartzosa, com carapaças calcárias, de granulometria média a grossa, moderadamente a mal selecionadas, predominantemente subangulosas, com face de praia com declividade média de aproximadamente 5°. Sendo assim, há necessidade de remoção do óleo, podendo este percolar por até 25 cm de profundidade devido a sua viscosidade.

O que diferencia as praias de índice 3 para as de índice 4 seria basicamente o fato de os ambientes de índice 4 exibirem características fisiográficas de praias retilíneas e por se tratarem de praias com orientação E-W, o que lhes confere

maior potencial para receber “ressacas”, o que faria com que houvesse uma alta remobilização de sedimentos, que ajudaria na percolação do óleo.

Os índices de sensibilidade 10, ou seja, mais sensíveis ao derramamento de óleo, são constituídos por canais de maré, como o canal de Marapendi, que caracteriza-se por sedimentos predominantemente lamosos, de baixa permeabilidade, e declividades médias inferiores a 3°. Essas áreas são críticas por se tratarem de zonas de baixa energia, o que dificulta a remoção natural de poluentes, bem como a abundante comunidade biótica, que atua na retenção do óleo, por parte de raízes de plantas nas margens do canal, por exemplo.

7. CONCLUSÕES

De acordo com os dados obtidos a partir dos estudos relacionados a declividade, diâmetro mediano do grão (D50) para 12 amostras, hidrodinâmica e condições meteorológicas (DHN, 2007), chegou-se as seguintes conclusões:

As análises granulométricas apontaram para um diâmetro mediano do grão (D50) caracterizado por areia média para todos os segmentos de praia estudados, com exceção da praia do Recreio dos Bandeirantes, no qual apontou um D50 igual a 0,560mm areia grossa. Sendo assim, a granulometria grossa da praia do Recreio dos Bandeirantes facilitaria a infiltração do óleo no substrato com maior rapidez.

A partir da elaboração do mapa de sensibilidade ambiental, através de fotointerpretação, para a costa do Rio de Janeiro, foi possível estabelecer áreas de maior sensibilidade e vulnerabilidade a derrames de óleo e outros derivados de petróleo na área estudada;

As praias de maior vulnerabilidade são aquelas constituídas por morfologias retilíneas na qual são expostas a ondas de tempestade com maior frequência, entre estas Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes.

A presença de óleo nas areias de praia dos segmentos estudados poderá gerar impactos ambientais negativos sobre as atividades turísticas e recreacionais.

A classificação dos índices de sensibilidade ambiental do litoral na área de estudo mostrou-se de fundamental importância para a determinação do grau de impacto e de permanência do óleo derramado, assim como, em muitos casos, para os tipos de procedimento de limpeza passíveis de serem empregados, e estratégias de mitigação e remediação da região. O grau de sensibilidade das praias arenosas a contaminação e a derramamentos de óleo foi determinado através de sua granulometria e características geológicas e morfológicas. Dessa forma foram identificadas cinco feições de sensibilidade ambiental (ISA 1, 2, 3, 4, 10) na região das praias de mar aberto da cidade do Rio de Janeiro.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP (2007) Bacia de Santos – Histórico Exploratório.– Agência Nacional de Petróleo –http://www.anp.gov.br/petro/rodadas_de_licitacoes.asp
- ANÍSIO, L.C.C. Análise da contaminação atual da Baía de Guanabara através da utilização de modelagem hidrodinâmica probabilística e avaliação de dados geoquímicos de sedimentos de praia, Dissertação de Mestrado, UFRJ 2006. 156 p.
- Castro, J. W. A. & Calheiros, A. L. S. (2007) Variações do nível relativo do mar nos últimos 7.000 anos a.p. na planície costeira de jacarepaguá - rio de janeiro: aplicação do programa *calib* 5.0.1. 11º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA, Belém – PA (CD-ROM).
- Castro, J. W. A. & Coutinho, N. M. (2007) Erosão e deposição de sedimentos nas praias da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes - Rio de Janeiro. 11º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA, Belém – PA (CD-ROM).
- INPE (2004) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Imagens de satélite, www.dgi.inpe.br.
- **CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental** - Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SP, 2007.
www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/oleo.asp
- Coutinho, N. M. (2007) Erosão e deposição de sedimentos no arco de praia da Barra da Tijuca / Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro – RJ. Tese de Mestrado, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências – UFRJ, 79p.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2001. Geologia, hidrogeologia, diagnóstico geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001. CDROM
- Grupo de Modelagem Oceânica, 2005.
- ITOPF (1986) – Response marine oil spill. Whiterby & The International Tanker owners pollution federation, Londres, Reino Unido. 150 p.
- MMA. 2002. Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de óleo. 22p. + anexos.
- NOAA. Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 2.0. NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 115. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. 79 pp. + appendices. 1997.
- Roncarati, H. Geologia dos sedimentos quaternários da baixada de Jacarepaguá, Rio de Janeiro (RJ). In: *Semana de Estudos Geológicos*, 3., 1975, Itaguaí, *Coletânea de*

trabalhos apresentados..., Itaguaí: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1975, p. 165-171.

- Roncarati, H.; Neves, L. E. *Projeto Jacarepaguá*: estudo geológico preliminar dos sedimentos recentes superficiais da baixada de Jacarepaguá – município do Rio de Janeiro, RJ. Rio de Janeiro: CENPES/ Petrobrás. 1976, 89 p.